

Production de boulets non fumeux par carbonisation à basse température

par P. LEDENT,

Ingénieur en Chef à Inichar.

SAMENVATTING

De carbonisatie op lage temperatuur kan uitgevoerd worden op ruwe kool of op agglomeraten. Indien men brandstoffen voor continu-haarden wenst te verkrijgen, biedt de carbonisatie van agglomeraten een dubbel voordeel, zowel wat de kwaliteit van de producten, als wat de rentabiliteit betreft.

De carbonisatie van teer-agglomeraten is aangewezen voor weinig zwellende kool (magere kool of vlamkolen). Voor meer zwellende kool is de sulfitische wassing meer geëigend.

Dit bindmiddel, een afvalproduct van de papierindustrie, werd gebruikt in een proefinstallatie van het Nationaal Instituut voor de Steenkolenindustrie. Het proces omvat een koude agglomeratie, een droging van 6 à 7 minuten in een fluo-zandbad en een carbonisatie van 1 h 30 à 2 h in een oven met nauwe kamers met metalen wanden. Dit procédé kan toegepast worden op kolen van zeer uiteenlopende aard. De half-vette kolen en vlamkolen kunnen afzonderlijk behandeld worden. De magerkolen en de vette kolen moeten gemengd worden.

Wegens de geringe handelswaarde van de onderproducten zouden de kolen met laag gehalte aan V.B. de laagste kostprijs hebben, (ongeveer 1.250 F/t in een industriële inrichting van groot vermogen).

Nieuwe studies zijn aangevat om de carbonisatie op continue wijze te beproeven, maar de industriële toepassing van deze werkwijzen schijnt nog niet in het nabije verschiep te liggen.

In de huidige staat van de techniek zijn het oxyderend rookloos maken van teeragglomeraten van magere kolen en de carbonisatie van half-vette agglomeraten met sulfitische wassing de procédés die het meeste belang wettigen.

Wat ook de gebruikte werkwijze zij, kan de thermische behandeling van agglomeraten slechts opgevat worden in inrichtingen van grote capaciteit. De rentabiliteit van de bewerking hangt inderdaad in hoge mate af van de omvang van de inrichting.

RESUME

La carbonisation à basse température peut être appliquée à des combustibles en vrac ou à des charges briquetées. Lorsque le but de l'opération est d'obtenir un combustible pour poêles à feu continu, la carbonisation de charges briquetées présente une nette supériorité du double point de vue de la qualité des produits et de la rentabilité.

La carbonisation d'agglomérés au brai s'indique pour les charbons peu fusibles (maigres ou flam-bants secs). Avec des charbons plus agglutinants, il est préférable d'utiliser la lessive sulfiteuse résiduaire de papeterie.

Ce liant a été expérimenté dans l'installation pilote d'Inichar. Le mode opératoire comporte : une agglomération à froid, un séchage de 6 à 7 minutes en lit de sable fluidisé et une carbonisation de 1 1/2 h à 2 h en four à chambres étroites, à parois métalliques. La méthode peut s'adapter à des charbons très divers : les demi-gras et les flam-bants peuvent être traités isolément, les maigres et les gras doivent être utilisés en mélange.

En raison de la faible valeur commerciale des sous-produits, ce sont les charbons à faible indice de M.V. qui donneraient actuellement le meilleur prix de revient (de l'ordre de 1.250 F/t dans une installation industrielle de grande capacité).

Des recherches nouvelles sont en cours, en vue de mettre au point des méthodes de carbonisation en continu, mais l'application industrielle de ces méthodes paraît encore lointaine.

Dans l'état actuel de la technique, ce sont les procédés de défumage oxydant des boulets maigres agglomérés au brai et la carbonisation des boulets demi-gras agglomérés à la lessive sulfiteuse qui semblent présenter le plus d'intérêt.

Quel que soit le procédé choisi, le traitement thermique des agglomérés ne doit être envisagé que dans des usines de grande capacité ; la rentabilité de l'opération dépendant dans une large mesure de l'importance de l'installation.

1. HISTORIQUE

La carbonisation de la houille, à basse température, a connu ses premières applications industrielles durant la guerre 14-18 (1).

Il s'agissait d'industries montées en Allemagne, en vue de parer aux difficultés de ravitaillement en huiles et en carburants.

Durant la période 1920-1930, la poursuite des travaux allemands sur la synthèse des huiles, à partir de houille ou de lignite, a donné un regain d'actualité à la question et a entraîné une véritable floraison d'inventions, de brevets et d'appareils.

On vivait, à l'époque, dans la hantise d'une pénurie de carburants, du fait que les gisements de pétrole alors reconnus étaient monopolisés par quelques nations et situés pour la plupart à grande distance des centres de consommation de l'Europe occidentale. A cela venaient s'ajouter les pronostics pessimistes des géologues quant aux réserves de pétrole contenues dans l'écorce terrestre et l'importance croissante prise par les carburants dans la défense nationale et dans l'économie générale de chaque pays.

La plupart des procédés proposés à cette époque sont actuellement tombés dans l'oubli. La cause essentielle des échecs est que la rentabilité des opérations avait été axée sur les sous-produits liquides, le semi-coke étant considéré comme de peu de valeur. Or, à la pénurie de pétrole prévue par les géologues, s'est substituée une abondance relative résultant de la découverte de nouveaux gisements, ce qui a entraîné l'effondrement des prix mondiaux des huiles et des carburants.

2. RENTABILITE

Ce serait cependant une erreur de croire que la carbonisation à basse température ait perdu tout intérêt économique. En fait, quelques installations ont survécu et, au cours de ces dernières années, les industries britanniques du gaz et du charbon se sont orientées résolument vers l'extension des usines existantes et vers la création de nouvelles installations de production de semi-cokes de haute qualité pour usage domestique (2).

Du point de vue économique, le problème se pose de façon simple. En partant d'une tonne de charbon cru à environ 30 % de matières volatiles, la carbonisation à basse température fournit :

750 à 800 kg de semi-coke

80 à 100 kg de goudron

8 à 10 kg d'essences benzolées

et 80 à 100 m³ de gaz à 7.000 kcal.

Le bilan de l'opération sera positif si la valeur globale du semi-coke et des sous-produits dépasse le coût du charbon enfourné, augmenté de l'ensemble des frais d'exploitation et d'amortissement de l'usine.

Dans l'état actuel du marché, la valeur des sous-produits est assez faible et généralement inférieure aux frais de carbonisation. Dans ces conditions, la carbonisation à basse température ne peut être envisagée avec chance de succès que si le prix du semi-coke atteint au moins 135 à 140 % du prix des charbons enfournés.

Le barème des prix de vente des charbons et des combustibles qui entrent en compétition avec lui indique que le semi-coke a actuellement peu de chances de succès sur le plan des combustibles à usage industriel ; par contre, il existe une différence de prix suffisamment importante entre les calibrés anthraciteux et les fines grasses pour que la carbonisation à basse température puisse être envisagée en vue de la préparation d'un combustible domestique de haute qualité.

3. CARBONISATION EN VRAC ET CARBONISATION DE CHARGES BRIQUETEES

A ce stade, on peut se demander s'il convient d'orienter la recherche vers la carbonisation en vrac ou vers la carbonisation de charges briquetées.

La question est d'autant plus pertinente que les deux types de procédés se sont développés parallèlement à l'étranger. En Grande-Bretagne notamment, la semi-carbonisation en vrac rencontre depuis plusieurs années un succès incontestable et l'ensemble de la production de semi-coke à usage domestique vendu sous des dénominations commer-

ciales diverses (Coalite - Phimax - Rexco et Warmco) dépasse actuellement 1.200.000 tonnes par an.

Une étude attentive du problème montre que la réponse dépend entièrement des habitudes des consommateurs et de l'équipement dont ils disposent.

En Angleterre, le feu ouvert jouit encore à l'heure actuelle d'un succès considérable. Il nécessite un combustible très réactif et de gros calibre.

Traditionnellement, l'Anglais utilisait des gailletins et des criblés de charbon gras auxquels Londres et la plupart des grandes villes britanniques étaient redevables de leurs brouillards chargés de suie et de goudron.

Depuis quelques années, la législation est intervenue pour mettre un terme à cette pollution atmosphérique. L'usage des combustibles fumeux a été interdit dans les centres urbains et tout naturellement le choix du consommateur s'est porté vers des combustibles très réactifs et d'assez gros calibres tels que le semi-coke de carbonisation en vrac.

Sur le continent, la situation est tout autre. Le foyer à feu ouvert est pratiquement inconnu et le type même du poêle domestique est le poêle à feu continu adapté à la combustion des braisettes d'anthracite 10 - 20, 20 - 30 ou 30 - 50.

Dès le moment où le but poursuivi est de produire un combustible destiné à remplacer les braisettes maigres ou anthraciteuses, la carbonisation d'agglomérés présente une supériorité indiscutable sur la carbonisation en vrac. Cette supériorité résulte tout d'abord de la différence des caractéristiques des produits obtenus :

Densité qui peut aller de 0,9 à 1,2 pour les agglomérés carbonisés et qui ne dépasse pas 0,6 à 0,7 pour les semi-cokes en vrac.

Porosité : très faible dans le cas des agglomérés carbonisés, qui peuvent être transportés sans précautions spéciales tout comme les braisettes d'anthracite ; très grande dans le cas des semi-cokes en vrac qui doivent être mis en sacs et conservés à l'abri de la pluie si l'on ne veut pas que leur teneur en humidité atteigne 9 à 10 %.

Cohésion et résistance à l'abrasion : tout à l'avantage des agglomérés carbonisés en raison de leur forme et de leur compacité.

Mais cette supériorité résulte également de considérations purement économiques :

La durée de carbonisation qui varie entre 4 et 8 heures pour la carbonisation en vrac et qui peut être ramenée entre 1 h 1/2 et 2 h dans le cas des agglomérés.

L'universalité du procédé de carbonisation des agglomérés qui s'accommode de charbons à pouvoirs agglutinants très divers, alors que la carbonisation en vrac exige un pouvoir agglutinant élevé.

Le calibre uniforme des produits obtenus par agglomération, qui peut être choisi pour s'adapter au calibre le plus demandé. Cette dernière observation

mérite qu'on s'y attarde car ses incidences économiques sont considérables.

En appliquant les prix du barème Cobechar anthracite à la production globale d'une usine de carbonisation en vrac telle que celle de Velsen (Sarre), on arrive aux résultats suivants :

Calibre (mm)	Production (% du total)	Prix de barème (FB/tonne)	Valeur (FB)
0 - 10	18	~ 850	153
10 - 20	6	1.350	81
20 - 30	16	1.730	277
30 - 50	34	1.605	546
50 - 80	26	1.450	377
Total :	100		1.434

Il y a donc une différence de 300 francs entre le prix moyen de la tonne produite et le prix du classé le plus cher. Ceci montre que, même si l'on fait abstraction des différences de qualité des produits obtenus, le prix de vente moyen d'une usine enfournant des agglomérés de calibre 20 - 30 pourrait être 20 % plus élevé que celui d'une usine travaillant en vrac. A elle seule, cette différence de prix de vente couvre largement tous les frais résultant de l'agglomération.

Enfin, un dernier facteur milite en faveur de l'aggloméré : c'est la possibilité de l'identifier par une marque ou par une forme particulière et de garantir au consommateur une parfaite régularité de composition et de qualité.

4. INFLUENCE DU TYPE DE LIANT

Le brai de houille est le seul type de liant qui ait été utilisé jusqu'à présent, en Europe occidentale, dans les usines d'agglomération travaillant pour la carbonisation. Par contre, en Haute-Silésie, à la mine Blechhammer, une très grosse usine a fonctionné durant la dernière guerre, dans laquelle on utilisait une lessive sulfittique concentrée additionnée de 1 % de brai (5).

Lors de la carbonisation, ces deux liants se comportent de façon toute différente.

A partir de 100°, le brai est fondu et il en résulte un ramollissement des agglomérés qui les rend incapables de supporter une contrainte mécanique élevée. Le brai reste fluide jusqu'à 300° ; entre 300 et 450°, il se décompose progressivement, par départ de matières volatiles, et il subsiste finalement un squelette de coke très dur et très tenace. Pendant cette décomposition thermique relativement lente, le brai surchauffé agit sur le charbon comme un véritable fondant et des charges briquetées, préparées à partir de charbons relativement fusibles, se transforment inmanquablement en une masse informe de

semi-coke ou en grappes de boulets fissurés, soudés l'un à l'autre et fortement déformés.

La lessive sulfiteuse, utilisée en solution aqueuse, se durcit par séchage entre 100 et 115° et l'aggloméré obtenu acquiert une résistance élevée, qui se maintient pendant toute la durée de l'échauffement des boulets entre 100 et 300°. La transformation thermique de la colle cellulosique s'accomplit sans fusion, entre 300 et 400°, et il subsiste un résidu poreux à apparence de coke, mais plus cassant et plus friable que le coke de brai.

De ces propriétés différentes découlent deux conséquences majeures :

— L'agglomération au brai ne doit être appliquée qu'à des charbons de très faible indice d'agglutination et seulement si la carbonisation est réalisée dans un four où la charge subit peu de contraintes.

— La lessive sulfiteuse permet l'utilisation de fours continus de grande hauteur, tels que le four Lurgi-Spülgas qui a été utilisé dans l'installation de Blechhammer, en Haute-Silésie, et son emploi s'indique plus particulièrement pour l'agglomération de charbons qui présentent un certain pouvoir agglutinant.

5. CARBONISATION DES AGGLOMERES AU BRAI

L'usine à « Phurnacite » d'Aberaman (Pays de Galles) (4) et l'usine pilote de « Synthracite » des Mines d'Etat néerlandaises (5) constituent les applications industrielles les plus marquantes de la technique de carbonisation des boulets au brai.

Le charbon traité est un mélange faiblement agglutinant de maigres ou quart-gras dont l'indice de matières volatiles se situe au voisinage de 12 %.

Les agglomérés sont carbonisés dans des fours en briques réfractaires (fours Disticoke), chargés et défournés par gravité. La largeur des chambres est de 20 cm et la température de paroi de l'ordre de 750 à 800°. La durée de carbonisation varie entre 4 h et 4 h 30 et le rendement en produits solides (sec/sec) est de l'ordre de 91 %.

A titre d'exemple, nous donnons ci-dessous les caractéristiques moyennes que nous avons déterminées sur un lot de Synthracite provenant de l'installation pilote de Geleen :

Résistance (Moy. s/50 boulets) :	128,5 kg
Ecart-type relatif :	23,3 %
Poids spécifique :	1,22 g/cm ³
Humidité :	1,9 %
M.V. (s/sec) :	3,2 %
Cs' (s/sec) :	5,9 %

La résistance obtenue varie dans une certaine mesure avec la nature des charbons traités et il n'est pas rare que l'on dépasse le chiffre de 200 kg.

L'agglomération au brai, suivie de carbonisation en fours à chambres, peut également s'appliquer à des charbons flambants secs additionnés d'une petite quantité de charbon plus fusible. C'est ce qui a été réalisé à la cokerie de Marienau dans un four à parois métalliques du type Brennstoff-Technik, fonctionnant avec une largeur de chambres de 9 cm et une température de parois de 600°.

Le mélange traité avait la composition suivante : 20 à 25 % de flambant gras (indice de gonflement 1 à 2).

75 à 80 % de flambant sec (gonflement nul).

Matières volatiles du mélange (s/sec) : 35 %.

Teneur en cendres (s/sec) : 5 %.

La durée de carbonisation était de 3 heures, cette carbonisation étant suivie d'un séjour de 20 à 30 minutes dans une chambre calorifugée dans laquelle s'achevaient le dégazage et la consolidation des boulets. Les agglomérés carbonisés, vendus sous le nom de Tetralor, avaient un indice de matières volatiles de l'ordre de 6 à 7 % et une teneur en cendres d'environ 7 1/2 %.

Différents artifices peuvent être envisagés pour étendre le champ d'application de la carbonisation des agglomérés au brai à toute la gamme de charbons fusibles qui va des 1/4 gras aux flambants :

- amaigrissement du mélange par addition de maigre ou de semi-coke ;
- addition de réactifs chimiques (oxydants, chlorures ou soufre) ;
- réduction de la vitesse de chauffe par un allongement de la durée de carbonisation ;
- réduction de l'indice d'agglutination du charbon par un traitement oxydant réalisé avant ou après le briquetage.

Une seule de ces techniques a donné lieu à un développement industriel : l'oxydation ménagée des boulets telle qu'elle est pratiquée à l'usine de Carmaux, pour la production des « Carmonoix » (6).

Cette oxydation est réalisée de manière discontinue, les boulets crus étant empilés dans des bennes cylindro-coniques de 3 m³ de capacité, traversées par un courant de fumées oxydantes à une température de 160 à 170°. La durée de l'opération est de l'ordre de 10 à 14 heures et des mesures spéciales doivent être prises pour éviter l'emballement de la réaction et l'auto-inflammation de la charge.

Des études sont actuellement en cours avec la collaboration du Cerchar, en vue de remplacer l'opération lente et discontinue d'oxydation des boulets par une oxydation en lit fluidisé pratiquée avant l'agglomération. A ce jour, les résultats de ces essais n'ont pas encore été divulgués.

6. INSTALLATION PILOTE D'INICHAR

Nos premiers essais de carbonisation à basse température ont été entrepris en 1955 à l'initiative de

M. Coppens, Chef du Laboratoire d'Inichar (7). Ils ont été réalisés à la Station expérimentale du Steinkohlenbergbauverein, à Langenbrahm (Essen), sur des agglomérés de charbons flambants provenant des couches supérieures du gisement campinois.

Deux motifs justifiaient le choix d'un tel mélange comme produit de base : le pouvoir agglutinant relativement faible des charbons flambants et le fait qu'ils constituent une part très importante de l'ensemble des réserves belges (environ 20 %) dont l'exploitation est depuis longtemps différée par manque de débouchés.

Les mélanges expérimentés avaient les caractéristiques suivantes :

Matières volatiles (s/sec) :	31,9 à 33,3 %
Cendres (s/sec) :	4,7 à 5,9 %
Indice d'agglutination :	7,2 à 8,9.
(au moment de l'utilisation)	

Les essais de carbonisation furent réalisés dans un four à parois métalliques du type Brennstoff-Technik avec une largeur de chambres de 100 mm et une température limitée à 600°.

Les charges briquetées au brai donnèrent lieu à un collage important. Des traitements variés furent expérimentés en vue de remédier à cet inconvénient : amaigrissement de la charge par du semi-coke, oxydation superficielle à l'air, incorporation de soufre

ou de minerai de fer. Aucun de ces traitements ne put fournir une solution satisfaisante en raison, notamment, de la trop grande diminution de la résistance des agglomérés.

Devant cet échec, on décida d'expérimenter un autre type de liant et des résultats relativement satisfaisants purent être obtenus en agglomérant le mélange au moyen de lessive sulfite résiduaire. La résistance des boulets crus était assez faible (16 à 17 kg) en raison surtout de la déficience de la technique de séchage ; la résistance des agglomérés carbonisés se situait entre 49 et 68 kg.

Ces essais furent répétés l'année suivante sur un mélange de flambants provenant d'un charbonnage du Borinage (8). Une nouvelle technique de séchage fut expérimentée à cette occasion, qui consistait à plonger les boulets dans du sable préchauffé et à les y maintenir durant 20 minutes à une température de l'ordre de 250 à 300°.

Les caractéristiques moyennes des boulets obtenus sont résumées ci-dessous :

Résistance :	109 kg
Poids spécifique :	0,96 g/cm ³
Humidité :	4,4 %
Matières volatiles (s/sec) :	7,1 %
Cendres (s/sec) :	10,3 %

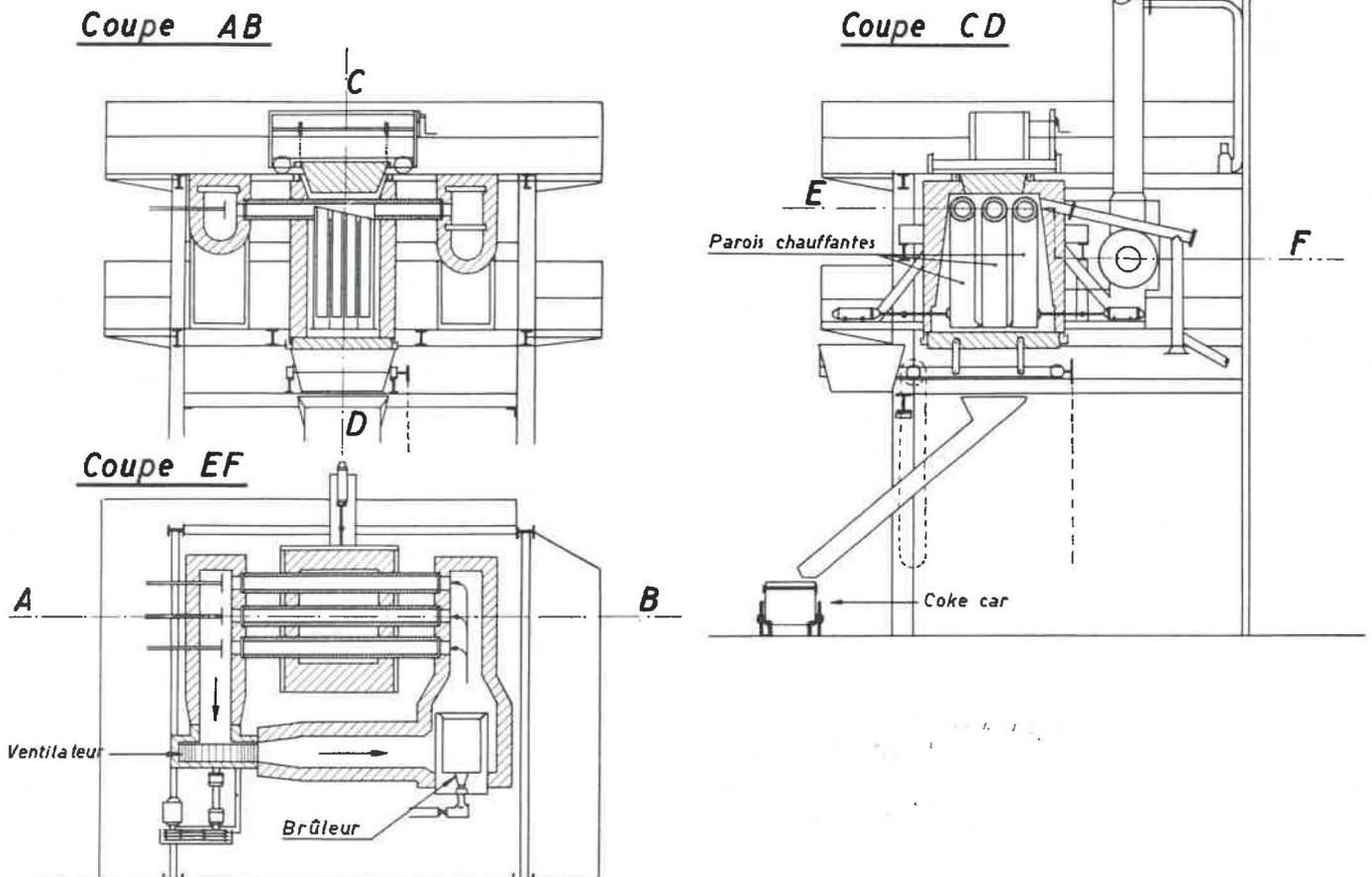


Fig. 1. — Four de carbonisation à basse température.

Ces résultats parurent suffisamment encourageants pour justifier la création d'une installation pilote à la station d'essais d'Inichar, à Ougrée, dans laquelle pourrait se poursuivre l'étude du procédé et de son développement à l'échelle industrielle.

L'un des principaux problèmes était la mise au point d'une technique de séchage efficace et économique, susceptible d'être développée à grande échelle, sans donner lieu à des installations d'un prix ou d'un encombrement prohibitifs.

M. Marcourt a exposé les résultats des recherches entreprises par Inichar, dans ce domaine, et qui ont abouti à la création d'un four de séchage d'un type entièrement nouveau dans lequel les boulets sont traités en lit de sable fluidisé, la durée totale de l'opération n'excédant pas 6 à 7 minutes.

Pour le four de carbonisation, notre choix s'est porté sur un four à parois métalliques du type Brennstoff-Technik, qui constitue une réplique exacte de l'installation expérimentale de Langenbrahm, mais dont la hauteur de chambres a été doublée, afin de se rapprocher davantage des conditions de marche industrielle.

La disposition générale de ce four est indiquée à la figure 1. Il comporte deux chambres de carbonisation de 0,80 m de longueur, de 1,50 m de hauteur et de largeur réglable entre 60 et 140 mm. Son chauffage est assuré par un brûleur à gaz. Les fumées de combustion ramenées en deçà de 800°, par mélange à des fumées recyclées, sont introduites dans l'épaisseur des 3 parois chauffantes et y sont distribuées par une série de tuyaux de répartition.

L'ensemble des chambres de carbonisation et des parois chauffantes est contenu dans une enceinte de maçonnerie réfractaire, fermée en haut et en bas par des couvercles avec gardes hydrauliques. Ces couvercles sont écartés au moment des enfournements, les boulets sont chargés et déchargés par gravité, le défournement étant obtenu par le pivotement des deux parois chauffantes latérales.

Il est à noter que le choix du four Brennstoff-Technik, pour l'équipement de notre station d'essais, ne préjuge en rien du choix qui pourrait être fait pour une éventuelle application industrielle.

Quatre motifs ont décidé de ce choix :

- la possibilité de réaliser des marches discontinues sans dommage pour le four ;
- la possibilité de régler à volonté la largeur des chambres, ce qui permet de modifier le rythme d'échauffement de la charge et de l'adapter au type de charbon ;
- la possibilité de traiter indifféremment des charges briquetées ou des charges en vrac ;
- la facilité de défournement obtenue par le pivotement des parois chauffantes latérales, qui permet de traiter des charges collantes ou gonflantes sans s'exposer à de graves difficultés.

7. RESULTATS DES PREMIERES CAMPAGNES DE CARBONISATION

Le montage de l'installation pilote a été terminé en juillet 1959. La fin de l'année a été consacrée à la mise au point des techniques d'agglomération et à diverses améliorations du four de séchage et ce n'est qu'en février 1960 qu'ont eu lieu les premières campagnes de carbonisation.

Deux Bulletins techniques d'Inichar ont été consacrés aux essais réalisés durant les mois de février, mars et avril (9) (10). Les résultats les plus marquants sont repris ci-après.

Les premiers essais ont porté sur des agglomérés à la lessive sulfiteuse, constitués de charbon gras B additionné de semi-coke ou de charbon maigre.

La figure 2 montre l'évolution des caractéristiques mécaniques des produits obtenus, en fonction de la dose d'amaigrissant. On voit tout de suite que les boulets carbonisés peuvent atteindre des résistances très élevées (de l'ordre de 150 à 200 kg et parfois davantage).

Les boulets réalisés avec moins de 20 % de charbon maigre ont un aspect peu satisfaisant ; ils sont craquelés ou déformés et ont une nette ten-

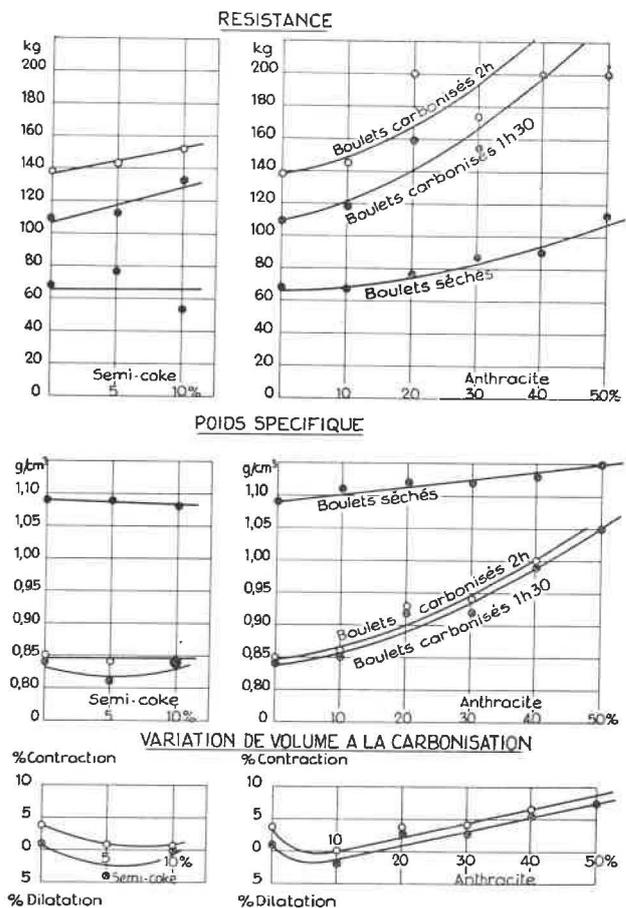


Fig. 2. — Caractéristiques des boulets produits à partir d'un mélange de gras B amaigri par du semi-coke ou par de l'antracite (dose de liant : 6 % L.S. sec/sec).

dance au collage. A partir de 20 % de maigre, le collage disparaît mais l'aspect continue à s'améliorer si l'on augmente la proportion d'amaigrissant et il en va de même des caractéristiques de densité et de résistance.

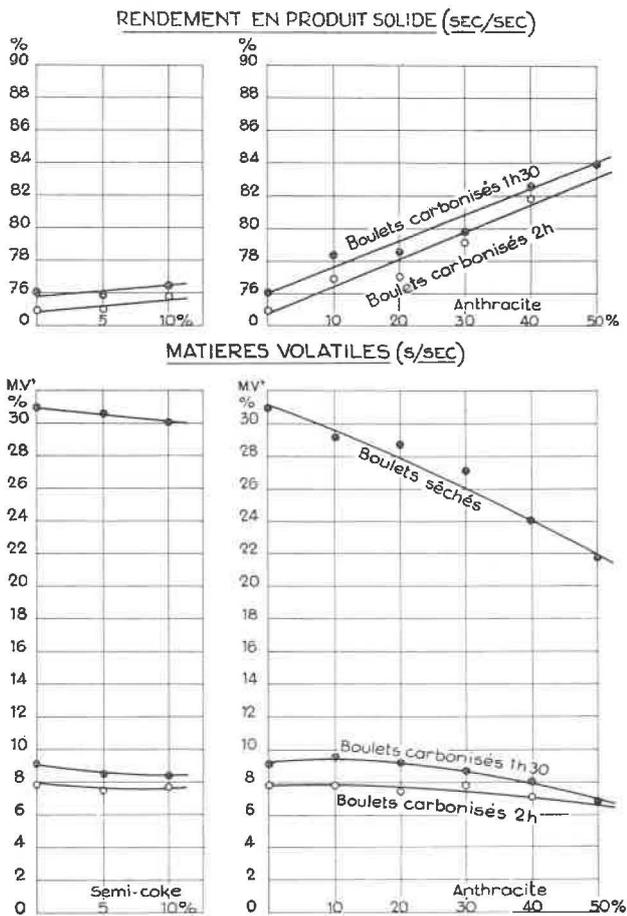


Fig. 3. — Rendement en produit solide et indice de matières volatiles des agglomérés obtenus à partir d'un mélange de gras B amaigri par du semi-coke ou par de l'anthracite (dose de liant : 6 % L.S. sec/sec).

La figure 3 donne les teneurs en matières volatiles et les rendements en produit solide, en fonction de la quantité d'amaigrissant. Il est intéressant de noter que l'indice de matières volatiles de tous les boulets obtenus se situe entre 6 et 10 % et que cet indice varie très peu lorsque la durée de carbonisation passe de 1 h 30 à 2 h. Les produits obtenus sont rigoureusement non fumeux et leur comportement au feu est en tous points semblable à celui d'un anthracite de même calibre.

La figure 4 montre la constitution interne d'un boulet carbonisé provenant d'un mélange de charbon maigre et de gras B. On distingue les grains de charbon maigre, qui ont conservé leur forme anguleuse originelle et la pâte intercalaire de semi-coke, résultant de la fusion du gras B.

Au cours de ces premiers essais, nous avons adopté une teneur en liant de 6 % (liant sec/char-

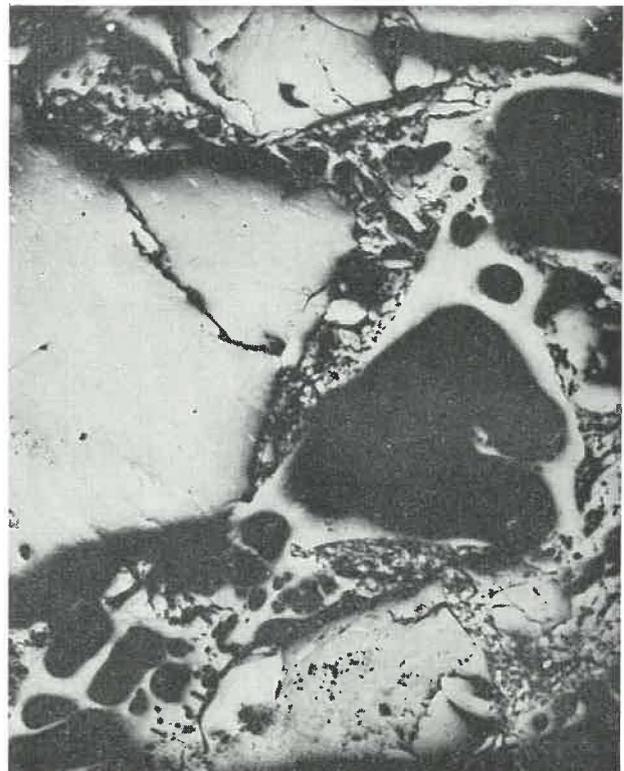


Fig. 4. — Coupe à travers un boulet carbonisé provenant d'un mélange de 50 % de gras B et de 50 % de charbon maigre, aggloméré à la lessive sulfiteuse.

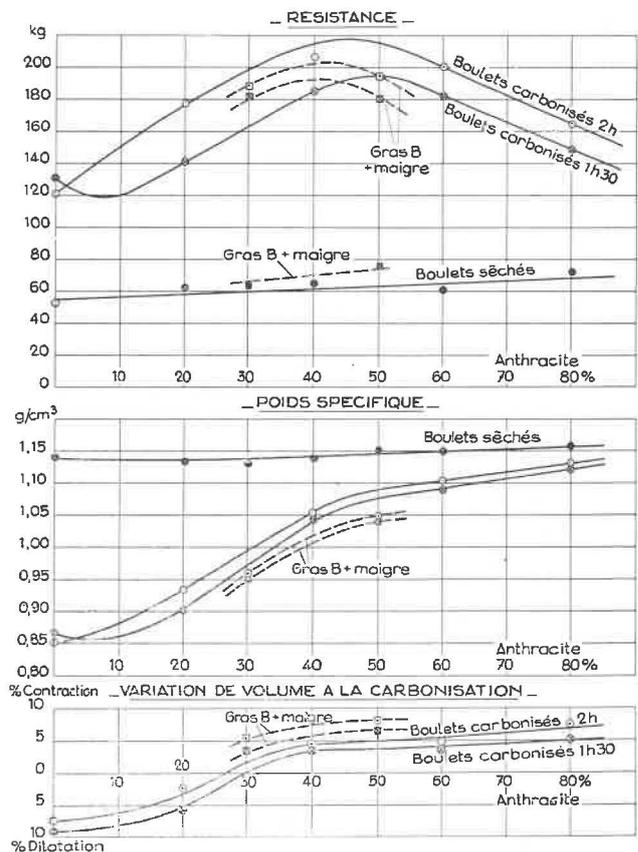


Fig. 5. — Caractéristiques des boulets produits à partir d'un mélange gras A + anthracite (dose de liant : 4 % L.S. sec/sec).

variation de la résistance des boulets carbonisés, de leur contraction et de leur tendance au collage, en fonction de l'indice d'agglutination du mélange constituant les boulets, de la dose de liant et de la durée de carbonisation (fig. 7).

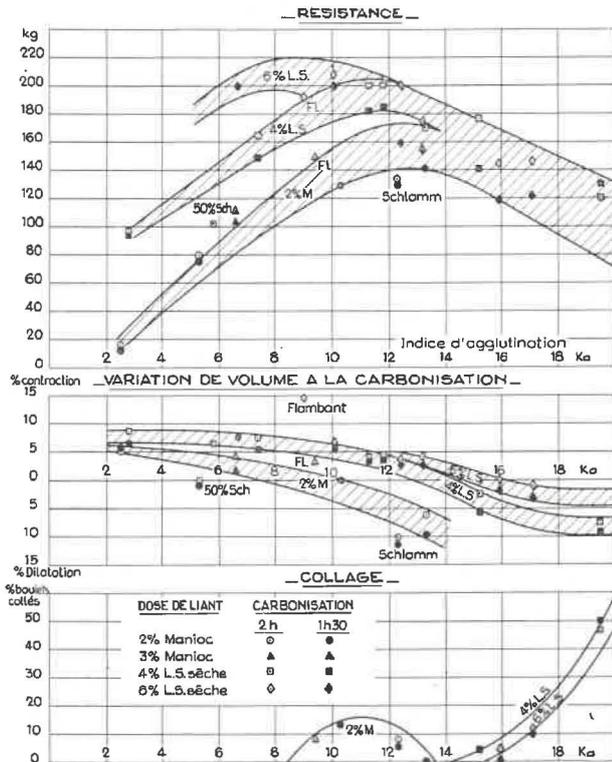


Fig. 7. — Caractéristiques des boulets carbonisés en fonction de l'indice d'agglutination des boulets séchés.

Lorsque l'indice d'agglutination du boulet séché est compris entre 0 et 12, la résistance du boulet carbonisé apparaît comme une fonction additive de la quantité de liant et du pouvoir agglutinant.

Pour des indices d'agglutination supérieurs à 12, le rôle du liant s'atténue et l'on observe une dégradation progressive de la résistance par suite de la trop grande fusibilité de la pâte qui entraîne un gonflement et une distorsion des boulets.

Le second diagramme montre l'effet du liant sur la variation du volume des boulets au cours de leur carbonisation. Le film de liant enrobant les grains de charbon tend à se contracter et s'oppose au gonflement résultant du dégagement des matières volatiles ; pour les boulets à 6 % de lessive sulfitique (liant sec/charbon sec), la tendance à la contraction, l'emporte pour tous les mélanges d'indices d'agglutination inférieurs à 15 ; avec 4 % de lessive sulfitique, le point d'inversion se trouve ramené entre 13 et 14.

La partie inférieure de la figure met en évidence la corrélation qui existe entre les effets de gonflement et le collage des boulets ; il apparaît très nettement qu'aucun collage important n'est à craindre, lorsque la variation de volume des boulets est dans

le sens de la contraction. Lorsque les boulets se dilatent, la pression qui s'exerce entre eux favorise le collage et celui-ci prend une importance d'autant plus grande que l'indice d'agglutination du mélange est plus élevé.

De l'ensemble de ces observations, on peut tirer la conclusion suivante.

Avec une forte dose de liant (6 % L.S. sèche), il est possible de réaliser de très bons boulets carbonisés avec des mélanges dont l'indice d'agglutination peut varier dans de très larges limites (minimum 1 ou 2, maximum 15). Si la dose de liant diminue (4 % L.S. sèche), l'étendue de la zone optimum se réduit progressivement, mais des résultats très satisfaisants peuvent encore être atteints avec des indices d'agglutination compris entre un minimum de 3 ou 4 et un maximum de 13.

En bref, la carbonisation d'agglomérés à la lessive sulfitique est applicable à tous les charbons belges qu'ils soient traités isolément (1/2 gras et flam-bants) ou en mélanges (maigres et gras).

8. ASPECT ECONOMIQUE DU PROBLEME

Sur le plan économique, la question est le prix auquel des boulets carbonisés pourraient être produits.

Nous allons tenter de donner l'ordre de grandeur des principaux éléments du prix de revient, étant entendu qu'il ne s'agit là que d'une estimation, qui ne préjuge en rien des résultats de l'étude détaillée qui devra décider de la rentabilité du procédé.

Dans cette étude sommaire, nous envisageons deux cas extrêmes : celui d'une usine qui n'enfournerait que du gras B à 35 % de matières volatiles et celui, tout théorique, d'une installation qui ne traiterait que de l'anhracite à 8 % de matières volatiles et qui, de ce fait, ne comporterait aucune installation de récupération des sous-produits.

Nous baserons nos évaluations sur les données mieux connues relatives aux installations de carbonisation à haute température et, plus particulièrement, sur une récente étude consacrée au projet d'établissement d'une nouvelle cokerie en Campine.

81. Immobilisations.

Une difficulté se présente pour l'évaluation du prix des fours de carbonisation. En effet, la cokerie travaille habituellement avec des cellules de 45 cm de largeur et des durées de carbonisation de 16 à 18 heures, alors que la carbonisation à basse température est réalisée en un temps beaucoup plus court, dans des cellules plus étroites.

Dans notre évaluation, nous avons admis que le prix des fours est directement proportionnel à la surface des parois chauffantes.

Cette hypothèse conduit à une équivalence de prix dans les conditions suivantes.

Type de four	Largeur de cellule	Durée de carbonisation
Four à coke	45 cm	17 h
Four à Phurnacite	20 cm	7 h 30
Four Brennstoff-Technik	8 cm	3 h

En fait, la carbonisation à basse température de charges préalablement briquetées peut être réalisée en des temps sensiblement plus courts.

Compte tenu de ce facteur et de la moindre densité de chargement des agglomérés, on peut finalement admettre que, pour un même tonnage enfourné, le prix des fours de basse température n'excédera pas 60 % du prix d'une batterie de fours à coke traitant le même tonnage.

Sur ces bases, les investissements nécessaires pour une cokerie et pour une usine de carbonisation à basse température travaillant en charges briquetées peuvent être estimés comme l'indique le tableau II.

Par ailleurs, une étude de la firme Otto, réalisée en 1951, estimait le coût global d'une installation Brennstoff-Technik, traitant du charbon gras et prévue pour un enfournement annuel de 450.000 tonnes, à 30 millions de D.M. ou 360 millions de FB, soit 800 FB par tonne annuelle. Compte tenu de la dépréciation de la monnaie, ce montant dépasse sensiblement le chiffre de 775 F admis dans notre tableau, mais il faut noter que le projet prévoyait un enfournement en vrac avec une durée de carbonisation de l'ordre de 3 heures et une vaste installation de distillation et de rectification des sous-produits.

82. Frais de traitement.

Le tableau III donne une estimation globale des frais de traitement par tonne enfournée pour les trois types d'installations.

La comparaison de ces chiffres appelle quelques commentaires.

— Le poste main-d'œuvre des installations de carbonisation à basse température l'emporte de très

TABLEAU II.
Investissements par tonne annuelle enfournée.

Nature de l'installation	Cokerie		Carbonisation à B.T.	
	Charbon traité		Anthracite	Gras B
	Gras A			
Stockage et préparation du charbon	82	82	82	
Agglomération et séchage des boulets	—	105	105	
Fours de carbonisation équipés	294	176	176	
Traitement du produit solide	52	26	26	
Traitement gaz et sous-produits	128	—	—	128
Total partiel	556	389		517
Aménagement du terrain	278	194		258
Service généraux				
Divers				
Total	834	583		775
Frais d'étude	166	117		155
Surveillance construction				
Intérêts intercalaires				
Total général	1.000	700		930

Deux données permettent de confirmer l'ordre de grandeur de ces chiffres.

En 1955, les travaux d'extension de l'usine à Phurnacite d'Aberaman étaient estimés à 2.500.000 £ pour la création d'une nouvelle capacité d'enfournement de 500.000 t/an ; cet investissement, qui représente 700 FB par tonne d'enfournement annuel, recoupe le chiffre que nous avons admis, pour une installation de carbonisation de boulets à base d'anthracite,

loin sur le poste équivalent prévu pour la cokerie. Deux raisons justifient cet écart : la main-d'œuvre nécessaire au briquetage des charges (15 à 20 F/tonne) et le fait que les charges traitées à chaque enfournement sont beaucoup plus petites dans le cas des installations à basse température (capacité d'une chambre de four à coke : 20 m³ ; capacité d'une chambre de four à Phurnacite : 3,6 m³ ; capacité d'un four Krupp-Lurgi (6 cellules) : 2,7 m³). Le chiffre de 80 F/t admis pour l'installation trai-

TABLEAU III.
Frais de traitement par tonne enfournée.

Nature de l'installation Charbon traité	Cokerie	Carbonisation à B.T.	
	Gras A	Anthracite	Gras B
Main-d'œuvre et charges sociales (500 FB par homme-poste)	50	80	90
Gaz de chauffage (1,30 F/10.000 kcal P.C.S.)	82	66	66
Energie électrique consommée (1 F par kWh)	17	25	30
Consommations diverses (graisses, réactifs, pièces de rechange)	28	50	60
Frais généraux	30	30	30
Total partiel	207	251	276
Reconstitution du capital (10 %/an)	100	70	93
Total général	307	321	369

tant de l'anhracite correspond aux conditions réalisées à l'usine d'Aberaman qui, en 1955, utilisait un personnel de 170 hommes pour un enfournement annuel de 330.000 tonnes.

— Les installations de carbonisation à haute et à basse température sont des installations à rendement thermique très élevé. En première approximation, on peut donc admettre que la consommation de gaz de chauffage est directement liée à la chaleur sensible des produits et sous-produits, elle-même proportionnelle à la température de carbonisation. Dans cette hypothèse, la consommation de gaz des installations de carbonisation à basse température n'atteindrait que 60 % de celle d'une cokerie. Nous avons admis un rapport de 80 % pour tenir compte du fait que l'opération de séchage des boulets est réalisée dans un four distinct et que la majeure partie de la chaleur sensible accumulée par les boulets durant cette opération peut être dissipée avant leur enfournement. Le prix unitaire du gaz de chauffage a été choisi arbitrairement à 1,30 F par 10.000 kcal. Ce prix importe relativement peu, attendu que l'installation est simultanément productrice et consommatrice de gaz.

— La consommation d'énergie électrique et de pièces de rechange est sensiblement plus élevée dans le cas des installations de carbonisation à basse température du fait que ces installations comportent bon nombre d'appareils mécaniques inexistants en cokerie : malaxeurs - presses à boulets - ventilateurs des fours de séchage et des fours de carbonisation.

Un même montant de 30 F/tonne enfournée a été porté en « frais généraux » pour chacune des trois installations, afin de rendre plus comparables les conditions d'établissement des trois prix de revient. Ce poste ne peut se justifier que pour une installation de très grande capacité et il est bien entendu qu'il devrait être sensiblement majoré dans le cas d'une usine de moindre importance.

83. Bilan matériel et prix de revient.

Les bilans matériels du tableau IV ont été établis en admettant une consommation de liant de 40 kg de lessive sulfite sèche par tonne sèche de combustible traité. La répartition des sous-produits obtenus à partir d'une tonne de charbon gras B découle des renseignements recueillis à l'usine de Velsen, où des charbons de ce type sont carbonisés à basse température dans des fours du type Krupp-Lurgi.

Dans l'état actuel du marché et sans envisager aucune valorisation chimique poussée, il semble que la valeur d'ensemble des sous-produits puisse être estimée au taux de 1,30 F/10.000 kcal qui résulte des prix unitaires ci-après :

goudron (P.C.S. 9.000 kcal/kg) :

1,10 F/kg ou 1,22 F/10.000 kcal

gaz (P.C.S. 7.000 kcal/Nm³) :

0,91 F/Nm³ ou 1,30 F/10.000 kcal

benzine (P.C.S. 11.000 kcal/kg) :

1,70 F/kg ou 1,55 F/10.000 kcal

Le tableau V montre comment s'établit le prix de revient des boulets carbonisés en fonction de la nature du charbon enfourné et de la valeur attribuée aux sous-produits. Ces chiffres sont reproduits à la figure 8. Pour des mélanges d'indices de M.V. compris entre 8 et 33 %, nous avons admis des prix de revient un peu supérieurs à ceux que l'on peut déduire d'une simple interpolation entre les valeurs extrêmes, les frais de récupération et de traitement d'une tonne de sous-produits étant d'autant plus élevés que la quantité récupérée est plus faible. On constate tout de suite que, dans les conditions actuelles, ce sont les mélanges à forte dose de charbons maigres ou encore les charbons du genre des demi-gras qu'il serait le plus avantageux de traiter.

TABLEAU IV.
Bilan matériel.

Charbon traité	Anthracite	Gras B
<i>Matières enfournées :</i>		
charbon sec (kg)	1.000	1.000
lessive sulfiteuse sèche (kg)	40	40
<i>Analyse immédiate du charbon :</i>		
MV' (sur sec) (%)	8	35
Cs' (sur sec) (%)	6	4,5
<i>Prix à la tonne (*) :</i>		
charbon sec (F/t)	822	868
lessive sulfiteuse sèche (F/t)	2.500	2.500
<i>Produits obtenus :</i>		
Agglomérés carbonisés (kg) (MV' = 8 % Cs' = 6 %)	1.020	770
<i>Sous-produits :</i>		
Goudrons (9.000 kcal/kg) (kg)	—	104
Benzine (11.000 kcal/kg) (kg)	—	18
Gaz (7.000 kcal/Nm ³) (Nm ³)	—	104
Pouvoir calorifique des sous-produits (kcal)	—	1.850.000
<i>Valeur des sous-produits :</i>		
(par tonne sèche de charbon enfourné)		
1. sur la base de 1,30 F/10.000 kcal	—	240
2. sur la base de 2,20 F/10.000 kcal	—	407

(*) Prix du 0-10 suivant barème Cobechar majoré de 2,5 % par pourcent de cendres en moins.

TABLEAU V.
Prix de revient des agglomérés carbonisés
(par tonne sèche de charbon traité).

Charbon traité	Anthracite	Gras B
<i>Coût des matières premières :</i>		
charbon	822	868
liant	100	100
<i>Frais de traitement (*) :</i>		
Frais d'exploitation	264	290
Reconstitution du capital	74	98
Dépenses totales	1.260	1.356
<i>Prix de revient global du produit solide, déduction faite de la valeur des sous-produits:</i>		
1. sur la base de 1,30 F/10.000 kcal	—	1.116
2. sur la base de 2,20 F/10.000 kcal	—	949
Poids de produit solide sec	1.020	770
<i>Prix de revient à la tonne sèche :</i>		
1. sous-produits à 1,30 F/10.000 kcal	1.235	1.449
2. sous-produits à 2,20 F/10.000 kcal	1.235	1.232

(*) 1 tonne de charbon sec correspond à 1,05 tonne de boulets enfournés.

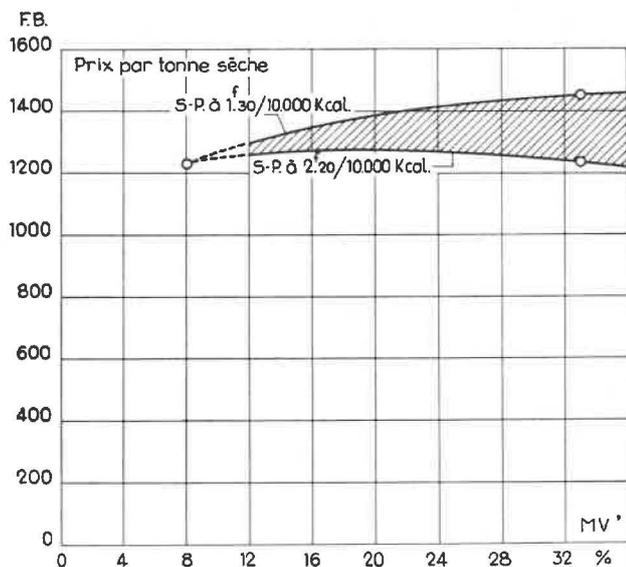


Fig. 8. — Estimation du prix de revient d'une tonne sèche de boulets carbonisés, en fonction du prix de vente des sous-produits et de l'indice de M.V. du charbon.

Le prix de revient des boulets carbonisés obtenus à partir de tels mélanges pourrait se situer au voisinage de 1.320 F la tonne sèche, soit environ 1.250 F la tonne pour un produit commercial à 6 % de cendres et 5 % d'eau.

Le prix de revient des produits obtenus à partir d'une plus forte dose de charbon gras serait actuellement moins favorable et il faudrait que le prix de vente moyen des sous-produits atteigne 2,20 F/10.000 kcal pour que la tendance se trouve inversée.

9. ORIENTATION DES RECHERCHES

La méthode d'agglomération à la lessive sulfiteuse, suivie de séchage en lit de sable fluidisé et de carbonisation en fours à chambres étroites chauffées par la paroi, présente un certain nombre d'avantages que l'on peut résumer brièvement :

- elle est applicable à tous les charbons belges ;
- elle utilise un four de séchage relativement simple et des fours de carbonisation qui ont déjà été éprouvés à l'échelle industrielle ;
- elle permet d'obtenir des agglomérés carbonisés de haute qualité et des goudrons très purs, ce qui est de nature à faciliter leur valorisation chimique ultérieure ;
- les premières estimations des frais de traitement conduisent à un prix de revient qui paraît acceptable.

Le principal défaut de la méthode est de recourir à une opération de carbonisation discontinue par petites fournées, qui se prête mal à l'automatisation et qui entraîne des dépenses de main-d'œuvre relativement élevées.

On pourrait proposer d'utiliser un four de carbonisation continu, tel que le four Lurgi à gaz de

balayage choisi pour l'équipement de l'usine de Blechhammer (Haute-Silésie) et dont la disposition d'ensemble est indiquée à la figure 9.

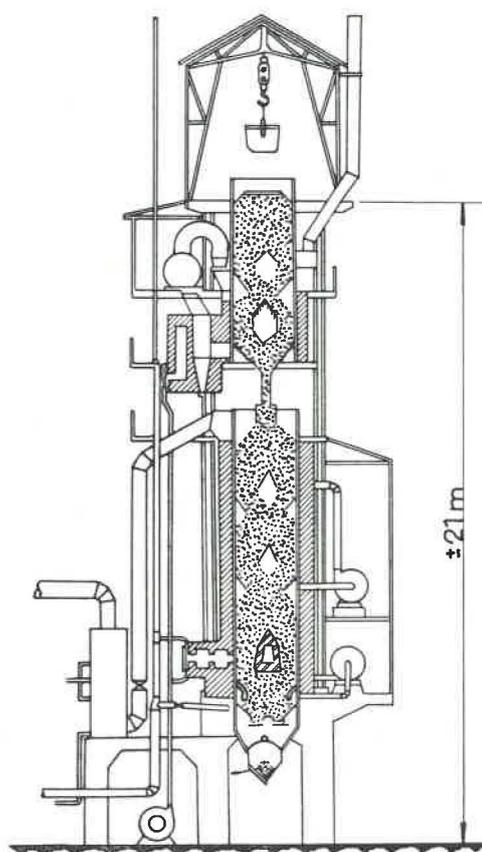


Fig. 9. — Four de carbonisation en continu type Lurgi à gaz de balayage.

Nous ne croyons cependant pas que cette suggestion puisse être retenue ; en effet, dans ces fours de très grande hauteur, la charge est soumise à des contraintes considérables qui auraient pour effet de déformer ou de détruire des agglomérés réalisés à partir de charbon relativement fusible.

91. Carbonisation des fines en lit fluidisé.

Une tout autre voie a été ouverte par les recherches qui se sont développées au cours des dernières années, en Grande-Bretagne et aux Pays-Bas. Elle consisterait à transformer la majeure partie des fines de charbon gras, que l'on désire traiter, en semi-coke pulvérulent obtenu par carbonisation en lit fluidisé et à mélanger ce semi-coke à 15 ou 20 % de charbon frais pour permettre son agglomération à chaud.

Ce procédé expérimenté par les services de recherches du N.C.B., fait actuellement l'objet d'un développement en usine pilote (2). Le but poursuivi est de mettre au point un combustible solide non fumeux mais d'assez haute teneur en matières volatiles, destiné à l'alimentation des feux ouverts et susceptible d'être produit plus économiquement que

les semi-cokes en vrac actuellement utilisés à cet usage.

Le traitement de fluidisation est appliqué à des fines de flambant sec à 40 % de M.V. qui sont traitées une heure durant par fluidisation à l'air, à une température comprise entre 375 et 450° C.

L'adoption de cette température de traitement particulièrement basse a pour conséquence de n'entraîner qu'une dévolatilisation très partielle du charbon qui sort du fluidiseur à l'état de charbon cuit ou « char », débarrassé de ses substances fumigènes mais contenant encore 25 % de matières volatiles.

Le traitement final est une agglomération à chaud aux environs de 400°, réalisée après addition d'une certaine quantité de charbon cru fluidifié par du brai, ou encore une agglomération sans liant pratiquée dans une presse spéciale à très haute pression.

Il est permis de penser qu'un procédé de ce genre pourrait être adapté à la production d'agglomérés carbonisés à faible teneur en matières volatiles, destinés à l'alimentation des poêles à feu continu. Il ne faut cependant pas sousestimer les difficultés de l'entreprise : en effet, pour parvenir à une teneur en matières volatiles suffisamment basse, la température du lit fluidisé devra être sensiblement augmentée, ce qui entraînera la fusion des grains de houille. Le produit de cette carbonisation cessera d'avoir l'apparence d'un « char » ou charbon cuit et se présentera sous forme d'un semi-coke pulvérulent, de très faible densité, dont l'agglomération pourrait s'avérer très difficile.

Il faut également noter que l'introduction d'un charbon fusible dans un lit fluidisé est une opération délicate qui, à notre connaissance, n'a encore fait l'objet d'aucune application à l'échelle industrielle.

92. Carbonisation en lit de sable.

Une autre solution est en cours d'expérimentation au laboratoire d'Inichar : la carbonisation des agglomérés par immersion dans un lit de sable fluidisé.

Dans les échantillons présentés figure un lot de boulets au brai produits à partir d'un mélange de 85 % d'antracite et de 15 % de charbon gras B.

Ces boulets ont été carbonisés durant 30 minutes dans un lit de sable fluidisé. Ils sont rigoureusement non fumeux et répondent aux caractéristiques suivantes :

Résistance : 83,5 kg.

Densité : 1,06.

Cendres (s/sec) : 4,8 %.

Matières volatiles (s/sec) : 7,3 %.

D'autres résultats encourageants ont été obtenus sur des mélanges à 20 % de charbon gras, mais les perspectives sont beaucoup moins favorables pour les mélanges à haut indice de matières volatiles.

CONCLUSION

Qu'il y ait actuellement intérêt à produire en Belgique des agglomérés non fumeux paraît être hors de doute. L'orientation du marché des combustibles domestiques et le succès remporté par les boulets non fumeux en France, en Grande-Bretagne et aux Pays-Bas sont à cet égard autant d'arguments décisifs.

La question est de savoir quel procédé il convient de préconiser et dans quelles conditions la production d'agglomérés non fumeux a le plus de chance d'être rentable.

On a tout d'abord parlé des recherches pour l'obtention directe d'agglomérés non fumeux à base d'antracite, par l'utilisation de liants non fumeux et force est de constater que, dans ce domaine, les résultats obtenus sont peu encourageants. Si l'on récapitule les liants dont l'emploi pourrait être envisagé, on trouve :

- la lessive sulfiteuse et le manioc, avantageux par leur prix, mais qui donnent des boulets ne supportant pas les intempéries ;
- l'urée-formol, d'une mise en œuvre aisée et qui est insensible à l'action de l'eau, mais qui donne des agglomérés coûteux et de médiocre tenue au feu ;
- enfin, le Suprakol, qui satisfait aux exigences de résistance aux agents atmosphériques et dont la tenue au feu paraît acceptable, mais qui nécessite un traitement thermique à assez haute température et dont l'utilisation peut être entravée par un prix initial élevé.

En fait, dans l'état actuel de nos connaissances, deux méthodes seulement nous paraissent devoir être préconisées : le défumage oxydant des boulets au brai, exclusivement applicable aux charbons maigres et antraciteux, et la carbonisation d'agglomérés à la lessive sulfiteuse, applicable en principe à tous les charbons belges, mais qui s'indiquerait plus particulièrement pour les demi-gras et les flambants.

Du point de vue économique, la méthode de défumage oxydant présente un certain nombre d'avantages :

- une température de traitement moins élevée ;
- un plus haut rendement en produits solides ;
- des frais d'exploitation sensiblement moindres, pour autant que le traitement puisse être réalisé dans des fours continus et à une échelle suffisante.

En contrepartie, la carbonisation peut fournir des boulets d'une plus haute qualité :

- par leur résistance mécanique ;
- par leur défumage total, jusqu'au cœur de l'aggloméré, et par leur pouvoir calorifique un peu plus élevé.

Enfin, à plus longue échéance, la carbonisation à basse température aurait le mérite d'ouvrir la voie

à de nouvelles formes de valorisation chimique des houilles et c'est là un objectif dont on ne doit pas minimiser l'importance, à une époque où la chimie organique connaît un essor sans précédent.

Un dernier point mérite d'être souligné car il est d'importance capitale : c'est la nécessité de n'entreprendre la valorisation thermique des agglomérés qu'à une échelle suffisamment large.

Cette condition constitue un préalable indispensable pour toute opération de carbonisation des houilles, car le facteur « échelle » se répercute sur tous les postes du prix de revient et conditionne la rentabilité de toutes les techniques de valorisation des sous-produits.

Mais cette condition est également très importante pour une usine de défumage dont le fonctionnement doit être assuré à trois postes et 365 jours par an et même pour un simple atelier de production des agglomérés.

Le Steinkohlenbergbauverein a édité récemment un volume de 240 pages entièrement consacré à l'étude de l'agglomération (11). Quelques chiffres extraits de cette étude sont reproduits au tableau VI ; ils traduisent l'évolution de la technique d'agglomération vers des unités de production de plus en plus grandes, qui seules permettent une économie de main-d'œuvre et un accroissement d'efficacité.

Dès l'année 1956, la capacité de production journalière moyenne des usines d'agglomération du district de la Ruhr atteignait plus de 1.000 tonnes par jour, ce qui correspond à la capacité de pro-

duction d'une installation de 75 t/heure fonctionnant à deux postes et il est admis outre-Rhin qu'une usine d'agglomération d'une capacité inférieure à 50 t/heure est actuellement non rentable.

Ces chiffres prennent tout leur relief si l'on observe qu'en cette même année 1956, la Belgique comptait 53 usines d'agglomération dont la production moyenne n'a pas dépassé 195 tonnes par jour de travail. La situation ne s'est évidemment pas améliorée au cours des dernières années et, en 1958, la production moyenne des usines belges est tombée à 143 tonnes/jour.

Quant à la main-d'œuvre dans nos usines d'agglomération, elle était en 1956 de 10 ouvriers-postes par 100 tonnes produites et s'est élevée à 11 ouvriers-postes par 100 tonnes pour l'année 1958.

A l'heure où notre industrie charbonnière doit entrer en compétition avec des firmes pétrolières dont les services de recherche, de production et de vente sont organisés à l'échelle mondiale ; à l'heure où la Belgique a donné son adhésion à la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier et au Marché Commun, il importe que chacun soit bien convaincu qu'aucune réalisation rentable ne peut plus être entreprise à l'échelle artisanale et que la dispersion des efforts ne peut conduire qu'à l'échec. C'est à cette condition seulement que le développement d'une technique de production d'agglomérés non fumeux peut apporter sa contribution au problème de l'écoulement des charbons belges et aider à surmonter la crise, sans précédent, que traverse notre industrie charbonnière.

TABLEAU VI.

Rationalisation de la production des agglomérés dans le district de la Ruhr par la concentration des usines et par l'augmentation de la capacité des presses.

	1900	1910	1926	1932	1941	1949	1956
Production annuelle (millions de t)	1,57	3,70	3,61	2,82	5,06	3,03	6,20
Nombre d'usines existantes en exploitation	32	49	50	43	29	26	23
	29	—	—	30	27	22	20
Nombre de presses en service	94	230	184	139	150	89	74
Production moyenne annuelle (milliers de t) d'une usine d'une presse	54,1	75,5	71,3	94	187	137	310
	16,7	16,1	19,6	20,2	33,8	34,1	83,9
Nombre de postes de main-d'œuvre par 100 tonnes de production	13 à 14	—	—	—	8,1	—	2 à 4

REFERENCES

- (1) P. GEORGES. — La carbonisation à basse température. *Annales des Mines de France*, juin 1947, p. 45-83.
 - (2) J. BRONOWSKI. — L'évolution des nouveaux combustibles sans fumées. *Annales des Mines de Belgique*, février 1960, p. 141-148.
 - (3) W. GOLLMER. — Ueber die thermische Behandlung von Steinkohlenbriketts (A propos du traitement thermique des briquettes de houille). *Glückauf*, mars 1956, p. 320-328.
 - (4) FEDECHAR et INICHAR. — Rapport des 5^me et
 - (5) 6^me Sessions de la Commission Technique Internationale de Valorisation du Charbon de la C.E.C.A. *Annales des Mines de Belgique*, mars 1956, p. 179-200 et juillet 1957, p. 585-626.
 - (6) P. BEAUGRAND. — Considérations sur les anthracites artificiels fabriqués à Carmaux. Communication présentée au IV^e Congrès International de Chauffage Industriel, Paris 1952.
 - (7) INICHAR. — Distillation à basse température de charbons flambants. Rapport d'Essais semi-industriels. Note polycopiée, 51 p., du 15 octobre 1955.
 - (8) INICHAR. — Distillation à basse température d'agglomérés de charbons flambants. Rapport d'Essais semi-industriels. Note polycopiée, 16 p., du 1^{er} décembre 1956.
 - (9) INICHAR. — Bulletin Technique « Houille et Dérivés », n^o 19, mai 1960. Distillation à basse température d'agglomérés de gras B et de charbon maigre.
 - (10) INICHAR. — Bulletin Technique « Houille et Dérivés », n^o 20, juin 1960. Distillation à basse température d'agglomérés à la lessive sulfiteuse et d'agglomérés au manioc.
 - (11) STEINKOHLBERGBAUVEREIN. — Brikettierung der Steinkohle (Le briquetage du charbon). Edition Glückauf, Essen 1958.
-